

В.И. ГУНЬКО, А.Я. ДМИТРИШИН, С.О. ТОПОРОВ, Е.Д. ТАНАСОВА, Т.А. ФЕЩУК

СРАВНЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ КОМБИНАЦИЙ ПОЛИПРОПИЛЕНОВО-ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНОГО ДИЭЛЕКТРИКА, ПРОПИТАННОГО ТРАНСФОРМАТОРНЫМ МАСЛОМ Т-1500 И ПОЛИМЕТИЛСИЛОКСАНОВОЙ ЖИДКОСТЬЮ ПМС-20

Рассмотрены результаты исследований электрофизических характеристик различных комбинаций пропитанного полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектрика, который может быть применен в качестве рабочего диэлектрика секций высоковольтных импульсных конденсаторов. На основе проведенных экспериментов на макетах секций конденсатора проанализировано влияние полярности диэлектрика и обкладок секции на электрическое сопротивление изоляции и кратковременную электрическую прочность таких диэлектрических систем.

Ключевые слова: пленочный диэлектрик, полярность диэлектрика, электрическое сопротивление изоляции, электрическая прочность, высоковольтный импульсный конденсатор.

В.І. ГУНЬКО, О.Я. ДМИТРИШИН, С.О. ТОПОРОВ, О.Д. ТАНАСОВА, Т.А. ФЕЩУК

ПОРІВНЯННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РІЗНИХ КОМБІНАЦІЙ ПОЛІПРОПІЛЕНОВО-ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНОГО ДІЕЛЕКТРИКА, ПРОСОЧЕНОГО ТРАНСФОРМАТОРНИМ МАСЛОМ Т-1500 ТА ПОЛІМЕТИЛСИЛОКСАНОВОЮ РІДИНОЮ ПМС-20

Розглянуто результати досліджень електрофізичних характеристик різних комбінацій просоченого поліпропіленово-поліетилентерефталатного діелектрика, що може бути використаний у якості робочого діелектрика секцій високовольтних імпульсних конденсаторів. На основі проведених експериментів на макетах секцій конденсатора проаналізовано вплив полярності діелектрика та обкладок секції на електричний опір ізоляції та короткочасну електричну міцність таких діелектричних систем.

Ключові слова: плівковий діелектрик, полярність діелектрика, електричний опір ізоляції, електрична міцність, високовольтний імпульсний конденсатор.

V.I. GUN'KO, A.YA. DMITRISHIN, S.O. TOPOROV, E.D. TANASOVA, T.A. FESHCHUK

COMPARISON OF ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF VARIOUS COMBINATIONS OF POLYPROPYLENE-POLYETHYLENE TEREPHTHALATE DIELECTRIC IMPREGNATED WITH TRANSFORMER OIL T-1500 AND POLYMETHYLSILOXANE LIQUID PMS-20

Results of researches of the electrical characteristics of various combinations of the impregnated dielectric on base of polypropylene (PP) and polyethylene terephthalate (PET) films, which can be applied as working insulator of high-voltage pulse capacitor's sections, are reviewed. On the basis of experiments on mockups of the capacitor sections influence of the polarity of the films and capacitor plates, affecting the electrical insulation resistance and short-term dielectric strength of such dielectric systems, is analyzed. It is found that the structure of PET + PP + PET and PET + PET + PP has the highest dielectric strength, and they can be recommended as working dielectric. As to impregnation liquids, it is found that the choice depends on the ambient temperature. Also for charge-discharge repetition rate larger than 0.1 Hz, is recommended dielectric structure with an increased non-polar component content.

Keywords: film dielectric, dielectric polarity, electrical insulation resistance, dielectric strength, high-voltage pulse capacitor.

Введение. Совершенствование конструкций высоковольтных импульсных конденсаторов в части расширения их эксплуатационных характеристик связано с применением в качестве рабочего диэлектрика конденсаторов пленочной изоляции [1]. Причем, рабочий диэлектрик высоковольтных импульсных конденсаторов может быть как на основе только полиэтилентерефталатной [2, 3] или пропиленовой [4] пленок, так и на основе полипропиленового и комбинированного полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектриков [5].

Данная работа является продолжением проводимых в ИИПТ НАН Украины исследований электрофизических характеристик различных пленочных ди-

электрических структур и их компонентов в условиях воздействия сильных электрических полей. Такие диэлектрические структуры, прежде всего, применяются в качестве рабочего диэлектрика высоковольтных импульсных конденсаторов электротехнических установок различного технологического назначения. В ходе этих исследований было получено, что наиболее перспективным является трехслойный комбинированный полипропиленово-полиэтилентерефталатный диэлектрик, с различным процентным содержанием полярной и неполярной составляющих [6].

В работе [6] диэлектрические структуры исследовались без пропитывающей жидкости, для исключения фактора пробоя в ней, как наименее электриче-

ски прочной составляющей, однако в реальных конденсаторах необходимо учитывать ее наличие [7]. Для пропитки пленочного диэлектрика высоковольтных импульсных конденсаторов эксплуатирующихся в нормальных климатических условиях широко применяется трансформаторное масло Т-1500 [1-5], но для пропитки конденсаторов погружных электроразрядных комплексов интенсификации добычи нефти и газа, эксплуатирующихся при температурах окружающей среды до 100 °С [8], должны быть применены диэлектрические жидкости с более высоким пределом рабочей температуры, например, полиметилсилоксановой жидкостью типа ПМС-20, допускающей эксплуатацию при температурах до 200 °С.

Цель данной работы – сравнение электрофизических характеристик различных комбинаций трехслойного пленочного диэлектрика при пропитке его трансформаторным маслом Т-1500 и полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20.

Основная часть. Сравнительные исследования пропитанных диэлектрических структур проводились на различных вариантах трехслойного комбинированного полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектрика, который применен в конструкциях высоковольтных импульсных конденсаторов ИИПТ НАН Украины [5, 6].

В конструкциях пленочного диэлектрика изменялось процентное содержание (по толщине) полярной полиэтилентерефталатной пленки (ПЭТ) – x и процентное содержание неполярной полипропиленовой пленки (ПП) – $(1-x)$. Вместе с тем, с целью исследования влияния перераспределения средней напряженности электрического поля по компонентам диэлектрика в соответствии с их относительными диэлектрическими проницаемостями на кратковременную электрическую прочность изменялось взаимное расположение полярной и неполярной составляющей в структуре диэлектрика при их неизменном процентном соотношении.

В качестве критериев оценки бралось изменение таких электрофизических характеристик исследуемых диэлектрических структур как электрическое сопротивление изоляции $R_{из}$ и кратковременная электрическая прочность $U_{пр}$. При этом также рассматривалось влияние на эти электрофизические характеристики полярности обкладки, прилегающей к полярной или неполярной составляющей пленочного диэлектрика.

Структур с преобладанием неполярной составляющей было выбрано четыре варианта:

- толщиной 30 мкм, состоящей из двух слоев полипропиленовой пленки толщиной 10 мкм и одного слоя полиэтилентерефталатной пленки толщиной 10 мкм с, соответственно, 66,7 и 33,3 % содержанием неполярной и полярной составляющих;
- толщиной 34 мкм, состоящей из двух слоев полипропиленовой пленки толщиной 12 мкм и одного слоя полиэтилентерефталатной пленки толщиной 10 мкм с, соответственно, 70,6 и 29,4 % содержанием неполярной и полярной составляющих;
- толщиной 35 мкм, состоящей из двух слоев по-

липропиленовой пленки толщиной 10 мкм и одного слоя полиэтилентерефталатной пленки толщиной 15 мкм с, соответственно, 57,1 и 42,9 % содержанием неполярной и полярной составляющих;

- толщиной 39 мкм, состоящей из двух слоев полипропиленовой пленки толщиной 12 мкм и одного слоя полиэтилентерефталатной пленки толщиной 15 мкм с, соответственно, 61,5 и 38,5 % содержанием неполярной и полярной составляющих.

Структур с преобладанием полярной составляющей было выбрано также четыре варианта:

- толщиной 30 мкм, состоящей из двух слоев полиэтилентерефталатной пленки толщиной 10 мкм и одного слоя полипропиленовой пленки толщиной 10 мкм с, соответственно, 66,7 и 33,3 % содержанием полярной и неполярной составляющих;
- толщиной 32 мкм, состоящей из двух слоев полиэтилентерефталатной пленки толщиной 10 мкм и одного слоя полипропиленовой пленки толщиной 12 мкм с, соответственно, 62,5 и 37,5 % содержанием полярной и неполярной составляющих;
- толщиной 35 мкм, состоящей из двух слоев полиэтилентерефталатной пленки толщиной 10 мкм и 15 мкм и одного слоя полипропиленовой пленки толщиной 10 мкм с, соответственно, 71,4 и 28,6 % содержанием полярной и неполярной составляющих;
- толщиной 40 мкм, состоящей из двух слоев полиэтилентерефталатной пленки толщиной 15 мкм и одного слоя полипропиленовой пленки толщиной 10 мкм с, соответственно, 75 и 25 % содержанием полярной и неполярной составляющих.

После пропитки диэлектрических структур с различными конструкциями пленочного диэлектрика трансформаторным маслом Т-1500 и полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20 измерялось электрическое сопротивление изоляции и определялась кратковременная электрическая прочность диэлектрика, путем доведения секций до электрического пробоя согласно стандартной методике испытаний ГОСТ 27427-87, при этом, каждое определение электрической прочности проводилось на пяти образцах.

В табл. 1 и 2 приведены результаты экспериментальных исследований структур пленочного диэлектрика при симметричном расположении их составляющих. В табл. 3-6 приведены результаты экспериментальных исследований структур пленочного диэлектрика при несимметричном расположении их составляющих. Для структур ПП+ПЭТ+ПП и ПЭТ+ПП+ПЭТ исследований по определению влияния полярности обкладок на величины их электрического сопротивления и электрической прочности не проводились по причине их симметричности.

Анализируя результаты экспериментальных исследований различных структур пленочного диэлектрика, приведенные в табл. 1-6, видно, что значения электрического сопротивления и кратковременной электрической прочности исследуемых структур пленочного диэлектрика пропитанных трансформаторным маслом Т-1500 и полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20 близки между собой.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований структур пленочного диэлектрика типа ПП+ПЭТ+ПП и ПЭТ+ПП+ПЭТ, пропитанных трансформаторным маслом Т-1500

Структура диэлектрика	d_n , мкм	$\varepsilon_{\text{эжв}}$	$\text{tg}\delta_{\text{эжв}} \times 10^{-4}$	x , %	$R_{\text{изз}}$, МОм	$U_{\text{пр ср}}$, кВ	$E_{\text{пр ср}}$, кВ/мм	σ , кВ
ПП+ПЭТ+ПП	30	2,41	10,27	33,3	18000	17,8	593,3	0,51
ПП+ПЭТ+ПП	34	2,38	9,42	29,4	18500	20,6	605,9	0,37
ПП+ПЭТ+ПП	35	2,48	12,65	42,9	16000	19,7	566,8	0,75
ПП+ПЭТ+ПП	39	2,44	11,53	38,5	17500	23,0	589,7	0,89
ПЭТ+ПП+ПЭТ	30	2,66	18,92	66,7	16000	17,9	596,7	0,2
ПЭТ+ПП+ПЭТ	32	2,63	17,78	62,5	17000	19,6	612,5	0,49
ПЭТ+ПП+ПЭТ	35	2,70	20,28	71,4	15500	19,9	568,6	0,2
ПЭТ+ПП+ПЭТ	40	2,73	21,34	75,0	14500	23,4	585,0	0,49

Примечание. σ – среднее квадратичное отклонение.

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований структур пленочного диэлектрика типа ПП+ПЭТ+ПП и ПЭТ+ПП+ПЭТ, пропитанных полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20

Структура диэлектрика	d_n , мкм	$\varepsilon_{\text{эжв}}$	$\text{tg}\delta_{\text{эжв}} \times 10^{-4}$	x , %	$R_{\text{изз}}$, МОм	$U_{\text{пр ср}}$, кВ	$E_{\text{пр ср}}$, кВ/мм	σ , кВ
ПП+ПЭТ+ПП	30	2,48	9,96	33,3	17500	17,2	573,3	0,75
ПП+ПЭТ+ПП	34	2,45	9,10	29,4	18500	19,6	576,5	0,8
ПП+ПЭТ+ПП	35	2,55	12,38	42,9	16000	19,4	554,3	1,07
ПП+ПЭТ+ПП	39	2,52	11,30	38,5	17000	22,2	569,2	0,98
ПЭТ+ПП+ПЭТ	30	2,75	18,89	66,7	16000	17,5	583,3	0,45
ПЭТ+ПП+ПЭТ	32	2,71	17,66	62,5	16500	18,8	587,5	0,24
ПЭТ+ПП+ПЭТ	35	2,79	20,21	71,4	15000	19,8	565,7	0,75
ПЭТ+ПП+ПЭТ	40	2,82	21,28	75,0	14000	22,4	560,0	0,49

Таблица 3 – Результаты экспериментальных исследований структур пленочного диэлектрика типа ПП+ПП+ПЭТ, пропитанных трансформаторным маслом Т-1500

d_n , мкм	Положительная обкладка на пленке ПП				Отрицательная обкладка на пленке ПП			
	$R_{\text{изз}}$, МОм	$U_{\text{пр ср}}$, кВ	$E_{\text{пр ср}}$, кВ/мм	σ , кВ	$R_{\text{изз}}$, МОм	$U_{\text{пр ср}}$, кВ	$E_{\text{пр ср}}$, кВ/мм	σ , кВ
30	21000	17,4	580,0	0,49	19500	17,7	590,0	0,4
34	22000	19,6	576,5	0,58	20000	19,8	582,4	0,24
35	18500	20,7	591,4	0,51	17000	21,4	611,4	0,58
39	19500	23,0	589,7	0,32	18500	23,6	605,1	0,58

Таблица 4 – Результаты экспериментальных исследований структур пленочного диэлектрика типа ПЭТ+ПЭТ+ПП, пропитанных трансформаторным маслом Т-1500

d_n , мкм	Положительная обкладка на пленке ПЭТ				Отрицательная обкладка на пленке ПЭТ			
	$R_{\text{изз}}$, МОм	$U_{\text{пр ср}}$, кВ	$E_{\text{пр ср}}$, кВ/мм	σ , кВ	$R_{\text{изз}}$, МОм	$U_{\text{пр ср}}$, кВ	$E_{\text{пр ср}}$, кВ/мм	σ , кВ
30	11000	18,3	610,0	0,24	12000	18,1	603,3	0,37
32	16000	19,8	618,8	0,51	16500	19,5	609,4	0,55
35	10000	20,8	594,3	0,51	11000	20,6	588,6	0,37
40	9500	23,6	590,0	0,58	10500	23,3	582,5	0,37

Таблица 5 – Результаты экспериментальных исследований структур пленочного диэлектрика типа ПП+ПП+ПЭТ, пропитанных полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20

d_n , мкм	Положительная обкладка на пленке ПП				Отрицательная обкладка на пленке ПП			
	$R_{\text{изз}}$, МОм	$U_{\text{пр ср}}$, кВ	$E_{\text{пр ср}}$, кВ/мм	σ , кВ	$R_{\text{изз}}$, МОм	$U_{\text{пр ср}}$, кВ	$E_{\text{пр ср}}$, кВ/мм	σ , кВ
30	21000	17,3	576,7	0,24	19000	17,5	583,3	0,32
34	21500	19,4	570,6	0,58	19500	19,6	576,5	0,49
35	18000	20,5	585,7	0,45	17000	21,1	602,9	0,37
39	19500	22,6	579,5	0,37	18000	23,3	597,4	0,6

Таблица 6 – Результаты экспериментальных исследований структур пленочного диэлектрика типа ПЭТ+ПЭТ+ПП, пропитанных полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20

d_n , мкм	Положительная обкладка на пленке ПЭТ				Отрицательная обкладка на пленке ПЭТ			
	$R_{\text{изз}}$, МОм	$U_{\text{пр ср}}$, кВ	$E_{\text{пр ср}}$, кВ/мм	σ , кВ	$R_{\text{изз}}$, МОм	$U_{\text{пр ср}}$, кВ	$E_{\text{пр ср}}$, кВ/мм	σ , кВ
30	11000	18,3	610,0	0,24	11500	17,9	596,7	0,37
32	15500	19,6	612,5	0,58	16000	19,3	603,1	0,4
35	10000	20,6	588,6	0,37	10500	20,4	582,9	0,37
40	9000	23,4	585,0	0,58	9500	22,9	572,5	0,37

В симметричных структурах ПП+ПЭТ+ПП и ПЭТ+ПП+ПЭТ величина среднеквадратичного отклонения при пропитке трансформаторным маслом Т-1500 составляет от 0,2 до 0,89 кВ, в этих же структурах, но пропитанных полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20, от 0,24 до 1,07 кВ, а в несимметричных структурах ПП+ПП+ПЭТ и ПЭТ+ПЭТ+ПП эта разница снижается и составляет, соответственно, от 0,24 до 0,58 кВ и от 0,32 до 0,6 кВ.

Необходимо отметить, что среди этих диэлектрических структур наибольшей кратковременной электрической прочностью обладают структуры с преобладанием полярной составляющей. Одновременно, для симметричных структур максимальная электрическая прочность достигается при максимальном процентном содержании неполярной составляющей. При пропитке трансформаторным маслом Т-1500 для структуры ПП+ПЭТ+ПП толщиной 34 мкм – $E_{пр} = 605,9$ кВ/мм, а для структуры ПЭТ+ПП+ПЭТ толщиной 32 мкм – $E_{пр} = 612,5$ кВ/мм. При пропитке полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20 для структуры ПП+ПЭТ+ПП толщиной 34 мкм – $E_{пр} = 576,5$ кВ/мм, а для структуры ПЭТ+ПП+ПЭТ толщиной 32 мкм – $E_{пр} = 587,5$ кВ/мм.

Вместе с тем, как показывают результаты экспериментальных исследований, приведенные в таблицах 3-6, наибольшая электрическая прочность диэлектрика достигается когда обкладка положительной полярности прилегает к полярной полиэтилентерефталатной пленке.

Выводы.

1. Для применения в конструкциях высоковольтных импульсных конденсаторов могут быть рекомендованы трехслойные пленочные структуры типа ПЭТ+ПП+ПЭТ и ПЭТ+ПЭТ+ПП как имеющие наибольшую электрическую прочность.

2. Так как значения электрической прочности у одних и тех же структур пропитанных трансформаторным маслом Т-1500 и полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20 близки, то выбор пропитываемой жидкости определяется температурой эксплуатации.

3. Для конденсаторов эксплуатирующихся с частотами следования зарядов-разрядов от 0,1 Гц и выше рекомендуются структуры с повышенным содержанием неполярной составляющей.

Список литературы

1. Рудаков В.В. Стан та тенденції розвитку високовольтних імпульсних конденсаторів / В.В. Рудаков // Вісник НТУ «ХПІ». – 2009. – № 39. – С. 146-154.
2. Ермилов И.В. Высоковольтные импульсные конденсаторы с полимерной изоляцией / И.В. Ермилов // Электричество. – 2006. – № 9. – С. 73-79.
3. Рудаков В.В. Удельная энергия высоковольтных импульсных конденсаторов с лавсановым диэлектриком / В.В. Рудаков, В.П. Касаткин // Вісник НТУ «ХПІ» Тем. вип.: Техніка і електрофізика високих напруг. – 2012. – № 21. – С. 233-237.
4. Andreev A.M. Degradation of the impregnated polypropylene insulation of power capacitors under operating conditions

/ A.M. Andreyev, N.M. Zhuravleva, M. Yevtich // Electrical Technology Russia. – 2002. – № 3. – Р. 96-106

5. Гунько В.И. Создание высоковольтных импульсных конденсаторов на основе комбинированного пленочного диэлектрика / В.И. Гунько, А.Я. Дмитришин, Л.И. Онищенко, И.А. Перекупка, С.О. Топоров // Электротехника и электромеханика. – 2014. – № 4. – С. 53-55.

6. Гунько В.И. Электрофизические характеристики комбинированного пленочного диэлектрика на основе полипропиленовой и полиэтилентерефталатной пленок / В.И. Гунько, А.Я. Дмитришин, С.О. Топоров // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: Техніка і електрофізика високих напруг. – 2017. – № 15(237). – С. 65-71.

7. Fallou B. Development of criteria for the selection of liquid dielectrics / B. Fallou, J. Samat, J. Perret, P. Vuarchex // CIGRE-86. – 1986. – Report 15-10. – Р. 166-180.

8. Дмитришин А.Я. Исследование тепловых режимов работы высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов / А.Я. Дмитришин, В.И. Гунько, С.О. Топоров, Е.Н. Слепец // Вісник НТУ «ХПІ» Тем. вип.: Техніка і електрофізика високих напруг. – 2012. – № 52. – С. 71-76.

References (transliterated)

1. Rudakov V.V. Stan ta tendentsiyi rozvytku vysokovol'tnykh impul'snykh kondensatoriv [Status and tendencies of development of high-voltage pulse capacitors]. Visnyk NTU «KhPI» [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2009, no. 39, pp. 146–154.
2. Ermilov I.V. Vysokovol'tnye impul'snye kondensatory s polimernoj izoljaciej [High-voltage pulse capacitors with polymeric insulation]. Elektrichstvo [Electricity], 2006, no. 9, pp. 73-79.
3. Rudakov V.V., Kasatkin V.P. Udel'naja jenergiya vysokovol'tnykh impul'snykh kondensatorov s lavsanovym dijelektrikom [The specific energy of high-voltage pulse capacitors with Mylar dielectric]. Visnyk NTU «KhPI» Tem. vyp.: Tekhnika i elektrofizyka vysokokh naprug. [Bulletin of the National Technical University "KhPI" Special Issue: Technique and Electrophysic of High Voltage]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2012, no. 21, pp. 233-237.
4. Andreev A.M., Zhuravleva N.M., Yevtich M. Degradation of the impregnated polypropylene insulation of power capacitors under operating conditions. Electrical Technology Russia, 2002, no. 3, pp. 96-106
5. Gun'ko V.I., Dmitrishin A.Ja., Onishhenko L.I., Perekupka I.A., Toporov S.O. Elektrofizicheskie harakteristiki kombinirovannogo plenochnogo dielektrika na osnove polipropilenovoy i polietilentereftalatnoy plenok [Electrophysical characteristics of a combined film dielectric based on polypropylene and polyethylene terephthalate films]. Elektrotehnika i elektromekhanika [Electrical engineering and Electromechanics], 2014, no. 4, pp. 53-55.
6. Gun'ko V.I., Dmitrishin A.Ja., Toporov S.O. Sozdanie vysokovol'tnykh impul'snykh kondensatorov na osnove kombinirovannogo plenochnogo dijelektrika [Design of high-voltage pulse capacitors on the basis of the combined film dielectric]. Visnyk NTU «KhPI» Tem. vyp.: Tekhnika i elektrofizyka vysokokh naprug. [Bulletin of the National Technical University "KhPI" Special Issue: Technique and Electrophysic of High Voltage]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2017, no. 15, pp. 65-71.
7. Fallou B., Samat J., Perret J., Vuarchex P. Development of criteria for the selection of liquid dielectrics. CIGRE-86, 1986, Report 15-10, pp. 166-180.
8. Dmitrishin A.Ja., Gun'ko V.I., Toporov S.O., Slepets E.N. Issledovanie teplovykh rezhimov raboty vysokovol'tnykh impul'snykh kondensatorov dlya pogruzhnykh elektrorazryad-

nyh kompleksov [The study of thermal conditions of high-voltage pulse capacitors for dawnhall electric discharges complexes]. Visnyk NTU «KhPI» Tem. vyp.: Tekhnika i elektrofizyka vysokykh naprug. [Bulletin of the National Technical

University "KhPI" Special Issue: Technique and Electrophysics of High Voltage]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2012, no. 52, pp. 71-76.

Поступила (received) 24.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гулько Віктор Іванович (Гулько Виктор Иванович, Gup'ko Viktor Ivanovych) – зав. сектором, Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України, м. Миколаїв; тел.: (0512) 58-71-36; e-mail: dphc@iippt.com.ua.

Дмитрішин Олексій Ярославович (Дмитришин Алексей Ярославович, Dmitrishin Aleksey Yaroslavovych) – молодший науковий співробітник, Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України, м. Миколаїв; тел.: (0512) 58-71-36; e-mail: dphc@iippt.com.ua.

Топоров Сергій Олегович (Топоров Сергей Олегович, Toporov Sergey Olegovich) – провідний інженер, Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України, м. Миколаїв; тел.: (0512) 58-71-36; e-mail: dphc@iippt.com.ua.

Танасова Олена Дмитрівна (Танасова Елена Дмитриевна, Tanasova Elena Dmitrievna) – провідний інженер-конструктор, Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України, м. Миколаїв; тел.: (0512) 58-71-36; e-mail: dphc@iippt.com.ua.

Фещук Тетяна Анатоліївна (Фещук Татьяна Анатольевна, Feshchuk Tatiana Anatolievna) – провідний інженер-технолог, Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України, м. Миколаїв; тел.: (0512) 58-71-36; e-mail: dphc@iippt.com.ua.

УДК 621.318

В.И. КРАВЧЕНКО, И.В. ЯКОВЕНКО, Л.В. ВАВРИВ

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ НА НЕОДНОРОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Определен механизм возникновения поверхностных электронных состояний на периодически неровной границе проводящих твердых тел. Определены механизмы возникновения неустойчивостей собственных колебаний полупроводниковых сверхрешеток, обусловленных их взаимодействием с потоками заряженных частиц в условиях влияния внешнего электромагнитного поля. Показано, что влияние импульсного электромагнитного излучения сопровождается возникновением токов в проводящих элементах изделий и возникновением их внутренних полей. магнитного излучения. Разработан новый механизм появления поверхностных электронных состояний на неровной поверхности проводящих твердых тел. Исследовано влияние неоднородных свойств поверхностей проводящих твердых тел в излучающих структурах на спектральные характеристики переходного и черенковского излучения. Разработана теория бесстолкновительного затухания поверхностных поляритонов в квантовом и классическом приближениях

Ключевые слова: электромагнитные поля колебания плазма полупроводник неустойчивость генерация излучение заряженные частицы поверхностные волны.

В.І. КРАВЧЕНКО, І.В. ЯКОВЕНКО, Л.В. ВАВРІВ

ПОВЕРХНЕВІ СТАНИ ЕЛЕКТРОНІВ НА НЕОДНОРІДНІЙ ПОВЕРХНІ ТВЕРДИХ ТІЛ

Запропоновано механізм появи поверхневих електронних станів на нерівних межах провідних твердих середовищ. Визначено механізми виникнення нестійкостей власних коливань напівпровідникових надграт, обумовлених їх взаємодією з потоками заряджених частинок в умовах дії стороннього електромагнітного випромінювання. Показано, що дія імпульсного електромагнітного випромінювання на електрорадіовироби часто супроводжується виникненням струмів у провідних елементах виробів та утворенням їх внутрішніх полів. Досліджено вплив неоднорідних властивостей поверхні у випромінюючих структурах на спектральні характеристики перехідного та черенківського випромінювання. Побудовано теорію беззіткнувального згасання поверхневих поляритонів у квантовому та класичному наближеннях.

Ключові слова: електромагнітні поля, коливання, плазма, напівпровідник, нестійкість, генерування, випромінювання, заряджені частинки, поверхневі хвилі.

V.KRAVCHENKO, I. YAKOVENKO, L.VAVRIV

SURFACE CONDITIONS OF ELECTRONS ON INHOMOGENEOUS SURFACE OF SOLID STATES

© В.И. Кравченко, И.В. Яковенко, Л.В. Ваврив, 2018